

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ І САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
з навчальної дисципліни**

«ІНЖЕНЕРНИЙ ЗАХИСТ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА»

*(для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Інженерний захист геологічного середовища» (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Д. В. Дядін. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 18 с.

Укладач Д. В. Дядін

Рецензент д-р техн. наук, проф. Ф. В. Стольберг

Рекомендовано кафедрою міських та регіональних екосистем, протокол № 1 від 31.08.2015 р.

Зміст

1. Геологічне середовище та його інженерно-геологічні властивості	4
1.1 Визначення типу незв'язних ґрунтів за гранулометричним складом	4
1.2 Визначення меж пластичності зв'язних глинистих ґрунтів.....	5
1.3 Визначення показників консистенції пилувато-глинистих ґрунтів	5
1.4 Склад і структурні особливості штучних кам'яних матеріалів.....	8
2. Методи інженерного захисту геологічного середовища	9
2.1 Побудування кривої гранулометричного складу	9
2.2 Методика оцінки суфозійності незв'язних ґрунтів	12
2.3 Статистична обробка результатів вимірювань інженерно-геологічних властивостей.....	14
2.4 Визначення міцності скельних і нескельних ґрунтів	16
Список рекомендованих джерел	17

1. ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ТА ЙОГО ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

1.1 Визначення типу незв'язних ґрунтів за гранулометричним складом

Визначення гранулометричного складу ґрунтів є необхідним для оцінки водопроникності і фільтраційних параметрів ґрунтів, умов розвитку в ґрунті небезпечних явищ, наприклад суфозії, придатності для використання в будівництві та інших інженерно-геологічних завдань. На етапі проектування важливим етапом виступає визначення типу ґрунту за гранулометричним складом за встановленими класифікаціями, від якого залежить склад подальших розрахунків та вибір показників. Для певних типів ґрунтів, у разі відсутності результатів польових або лабораторних досліджень, можна використовувати середньостатистичні значення деяких параметрів, наприклад показників пластичності.

Незв'язні ґрунти природного або штучного походження складаються з окремих частинок (уламків), розміри яких коливаються у дуже широкому діапазоні – від сантиметрів до сотих часток міліметра. Великоуламкові фракції, окрім розміру частинок, розрізняють також за їхньою формою – обкочені (округлі) і не обкочені (кутасті). У таблиці 1.1, наведеній нижче, представлено класифікацію великоуламкових і піщаних порід на основі розміру та вмісту частинок, що їх складають.

Таблиця 1.1 – Інженерно-геологічна класифікація великоуламкових і піщаних ґрунтів

Найменування ґрунту	Розмір частинок, мм	Вміст, %
<i>Великоуламкові ґрунти:</i>		
Валуни (брили)	Крупніше 200	> 50
Галька (щебінь)	Крупніше 10	> 50
Гравій (жорства)	Крупніше 2	> 50
<i>Піщані ґрунти:</i>		
Гравелистий	Крупніше 2	> 25
Крупнопіщаний	Крупніше 0,5	> 50
Середньої крупності	Крупніше 0,25	> 50
Дрібнопіщаний	Крупніше 0,1	≥ 75
Пилуватий	Крупніше 0,1	< 75

У графі найменування ґрунту в таблиці 1.1 у дужках наведені назви кутастих форм порід (брили, щебінь, жорства).

Визначення типу ґрунту здійснюють за результатами розсіву проби на фракції і розрахунків відсоткового масового вмісту кожної з них. Вибір типу ґрунту здійснюють шляхом послідовної перевірки відповідності гранулометричного складу проби вимогам, встановленим для кожного типу. Визначення при цьому варто починати з типів найкрупніших ґрунтів, послідовно відкидаючи невідповідні категорії.

Приклад визначення типу ґрунту

За результатами розсіву проби незв'язного ґрунту визначено такий склад фракцій у ньому:

Склад ґрунту	Розміри частинок у ґрунті, мм									
	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,5	0,5-1,0	1-2	2-5	5-10	10-20	20-40	40-60
Вміст, %	2,3	3,2	16,5	5,9	9,6	8,9	15,4	14,1	13,9	10,2

Виходячи з отриманих величин, очевидно, що даний ґрунт містить достатньо крупні фракції у своєму складі, але не крупніші за 200 мм. Частинки крупніші за 10 мм у ґрунті присутні, тому визначимо їхній вміст. Вони представлені у даному ґрунті трьома фракціями – 10-20 мм, 20-40 мм і 40-60 мм. Сумарний вміст цих трьох фракцій становить: $14,1 + 13,9 + 10,2 = 38,2\%$, що недостатньо для віднесення до типу галькового або щебенистого ґрунту, оскільки це менше 50%. Наступною межею у класифікації є розмір 2 мм, тому визначимо вміст частинок, що крупніші за 2 мм: вони представлені п'ятьма фракціями – 2-5, 5-10, 10-20, 20-40 і 40-60 мм. Сумарний їх вміст становить $8,9 + 15,4 + 14,1 + 13,9 + 10,2 = 62,5\%$, що відповідає типу гравій або жорства, оскільки перевищує 50%. Отже, даний ґрунт належить до типу гравійного або жорсткового, оскільки вміст у ньому частинок розміром крупніше 2 мм становить більше 50%.

1.2 Визначення меж пластичності зв'язних глинистих ґрунтів

Відомо, що зв'язні глинисті ґрунти, завдяки своєму тонко-дисперсному складу, мають особливу властивість – пластичність, тобто здатність змінювати форму у вологому стані. Для кількісної характеристики пластичності глинистих ґрунтів введено поняття «межа пластичності». Верхня межа пластичності (межа текучості) визначається значенням вологості, при якій порода переходить із пластичного стану в текучий і позначається W_L . Нижня межа пластичності (межа розкочування) W_P визначається вологістю породи, при якій вона переходить із пластичного стану в твердий.

1.3 Визначення показників консистенції пилувато-глинистих ґрунтів

Консистенція, або стан глинистого ґрунту, що відображає ступінь його рухливості його частинок залежно від вологості, є надзвичайно важливою характеристикою стійкості ґрунту. Для оцінки наявної консистенції або її прогнозу визначають показники пластичності ґрунту, які включають число пластичності, вологість на межі пластичності, вологість на межі текучості.

Числом пластичності I_p називають інтервал вологості, у межах якого порода перебуває у вологому стані. Ця величина встановлюється як різниця між

значеннями вологості на межі текучості W_L і вологості на межі пластичності (розкочування) W_P для даної породи:

$$I_p = W_L - W_P \quad (1)$$

Число пластичності може бути виражене у відсотках або в частках одиниці. Його розрахунок проводять на підставі даних визначення лабораторними методами вологості на межі текучості та вологості на межі пластичності. У таблиці 1.2 наведені значення показників пластичності й текучості різних типів глинистих порід.

Таблиця 1.2 – Показники пластичності й текучості глинистих порід

Порода (грунт)	Вміст глинистих частинок, %	Показник пластичності I_p , %	Межа текучості, W_L , %
Супісок	3 – 10	$1 < I_p \leq 7$	16-26
Легкий суглинок	10 – 15	$7 < I_p \leq 12$	
Суглинок середній	15 – 20	$7 < I_p \leq 15$	26-42
Суглинок важкий	20 – 30	$15 < I_p \leq 17$	
Глина	>30	$I_p > 17$	42

Крім того, консистенція глинистого ґрунту може бути охарактеризована показником консистенції I_L , який визначають за формулою:

$$I_L = \frac{W_0 - W_P}{W_L - W_P}, \quad (2)$$

де W_0 – природна вологість ґрунту;

W_L і W_P – вологість на границі текучості і пластичності відповідно.

За розрахованим показником визначають консистенцію глинистого ґрунту того чи іншого типу (табл. 1.3), що дозволяє прогнозувати поведінку глинистих порід при зміні вологості.

Міцність глинистих порід знижується з підвищенням вологості, тому для її оцінки необхідно визначити консистенцію породи в природних умовах. У глинах ущільнених з непорушеною структурою зміни консистенції при зміні вологості можуть не відбуватися завдяки наявності структурних зв'язків зчеплення. Після порушення структурних зв'язків така глиниста порода може перейти у м'який стан без додаткових ущільнень. Таким чином, характеристиками консистенції глинистих порід необхідно користуватися з урахуванням комплексу геологічних даних (умови залягання, мінералогічний склад порід тощо).

Таблиця 1.3 – Значення показника текучості для глинистих порід різної консистенції

Тип ґрунту (породи)	Консистенція	Величина показника текучості
Супісок	тверда	$I_L < 0$
	пластична	$0 \leq I_L \leq 1$
	текуча	$I_L > 1$
Суглинок і глина	тверда	$I_L < 0$
	напівтверда	$0 \leq I_L \leq 0,25$
	туго-пластична	$0,25 \leq I_L \leq 0,50$
	м'яко-пластична	$0,50 \leq I_L \leq 0,75$
	текучопластична	$0,75 \leq I_L \leq 1$
	текуча	$I_L > 1$

Приклад розрахунку 1

Визначити мінімальну вологість W_0 , при якій глинистий ґрунт перейде у пластичний стан. Порода є легким суглинком із числом пластичності $I_p = 12$.

З формули розрахунку показника консистенції I_L (2) одержуємо, що

$$W_0 = I_L \cdot (W_L - W_p) + W_p = I_L \cdot I_p + W_p$$

Із даних таблиці 1.2 випливає, що для супісків і легких суглинків вологість на межі текучості перебуває в інтервалі 16-26 %, а показник консистенції при переході в туго-пластичний стан I_L перевищує значення 0,25. Приймавши за вологість на межі текучості усереднене з поданих у таблиці значень $W_L = 24$, встановлюємо вологість на межі розкочування як $W_p = W_L - I_p$, тобто рівною $24 - 12 = 12\%$. Підставивши до зазначеної формули значення характеристик, одержуємо значення $W_0 = 27\%$.

Приклад розрахунку 2

Важкий суглинок має природну вологість 28 %. Визначити його консистенцію.

Виходячи з табличних даних (табл. 1.2), приймаємо значення числа пластичності, що відповідає характеристиці важкого суглинку, рівним 16, а усереднене значення верхньої межі пластичності $W_L = 38\%$. Тоді нижня межа пластичності W_p дорівнюватиме $38 - 28 = 10\%$.

Виходячи з цих показників пластичності, за формулою (2) визначаємо показник консистенції породи:

$$I_L = \frac{W_0 - W_p}{W_L - W_p} = \frac{28 - 10}{38 - 10} = 0,64$$

Згідно даних таблиці 1.3, ця величина показника консистенції відповідає м'яко-пластичній консистенції важкого суглинку.

Приклад розрахунку 3

Визначити мінімальну вологість, при якій глинистий ґрунт набуде текучо-пластичного стану. Порода представлена легким суглинком із числом пластичності 6% і вологістю на межі текучості 20 %.

Легкий суглинок починає перебувати у текуче-пластичному стані з величини показника консистенції $I_L = 0,75$ (табл. 1.3). Для визначення вологості, яка має бути при цій консистенції, використаємо формулу показника консистенції (2), з якої виразимо W_0 :

$$W_0 = I_L \cdot I_P + W_P = I_L \cdot I_P + (W_L - I_P) = 0,75 \cdot 6 + (20 - 6) = 18,5 \%$$

Отже, мінімальна вологість, при якій глинистий ґрунт набуде текучо-пластичного стану становить 18,5 %.

1.4 Склад і структурні особливості штучних кам'яних матеріалів

Ґрунти можуть бути представлені як природними гірськими породами, так і технічними каменями (штучні ґрунти). Поняття технічний камінь є збірною назвою мінеральної продукції, що одержується з природної мінеральної сировини промисловим способом і у великих обсягах.

Технічні камені, як і гірські породи, можуть бути моно- або полімінеральними і характеризуються певною структурою і властивостями. Якщо для гірських порід факторами, що визначають їхній склад і властивості, є геологічні умови, то для технічних порід цю роль відіграють технології. Змінюючи фізико-хімічні параметри (температура, тиск, концентрація), у процесі мінералоутворення можна одержувати сполуки із заданими властивостями. У лабораторних або промислових умовах можуть бути відтворені аналоги природних мінералів (алмаз, кварц, корунд, малахіт тощо) або створені сполуки, не виявлені в природних умовах (деякі карбіди, силіциди, нітриди). Прикладом великого сімейства штучних порід є вогнетривкі матеріали, які після служби у відповідних високотемпературних агрегатах здобувають схожість із породами, що утворилися в умовах контактного метаморфізму. Аналогом природних брекчій є бетон, різновиди якого широко використовуються в будівництві.

У рамках практичної роботи необхідно скласти опис представлених зразків гірських порід і технічних каменів за схемою, запропонованою викладачем. Особливу увагу слід приділяти мінеральним новоутворенням, використовуючи для їхнього орієнтованого визначення найпростіші якісні реакції. Орієнтовний порядок опису і перелік показників: колір, блиск, структура і розмір зерен, що складають камінь, текстура, щільність, вторинні зміни (продукти вивітрювання, ознаки контактного метаморфізму). Описані властивості необхідно занести у таблицю та скласти висновки щодо виявлення і порівняння особливостей природних і штучних ґрунтів.

2. МЕТОДИ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1 Побудування кривої гранулометричного складу

Результати визначення гранулометричного складу роздільно-зернистих ґрунтів відображають у вигляді інтегральної кривої, яка дозволяє візуалізувати процентний вміст окремих фракцій та визначати додаткові показники ґрунту, що впливають на його інженерно-геологічні властивості.

Робота складається з двох частин: 1) визначення гранулометричного складу ґрунту методом розсіву (ситового аналізу); 2) побудування інтегральної кривої гранулометричного складу.

Визначення гранулометричного складу ґрунту методом розсіювання

Ґрунт доводять до повітряно-сухого стану, для чого розсипають тонким шаром на аркуші паперу і просушують протягом 1-2 діб. Якщо ґрунт складається із злиплених грудочок, його обережно розтирають у порцеляновій ступці товчачиком з гумовим наконечником, щоб уникнути руйнування окремих зерен. З повітряно-сухої проби відбирають середню пробу, маса якої залежить від зернового складу ґрунту:

для порід, що не містять частинок крупніше 2 мм – 200 г,

для порід, що містять гравій і гальку до 10 % – 500 г,

для порід, що містять гравій і гальку від 10 до 30 % – 2000 г,

при більшому вмісті – 3000 г.

Ситовий аналіз проводять за допомогою комплексу сит з розмірами отворів від 40 до 0,1 мм. Сита збирають у стовпчик так, щоб діаметри отворів зменшувалися зверху вниз. Під нижнє сито підставляють піддон, а на верхнє встановлюють кришку. Попередньо зважену пробу сухого ґрунту насипають у верхнє сито стовпчика, який розміщують на спеціальному приладі для струшування (або здійснюють струшування вручну).

Після розсіву вміст кожного сита і піддону висипають у попередньо зважені чашки, зважують з точністю до 0,1 г і результати записують у робочий журнал. Розміри частинок, об'єднаних в одну фракцію, визначають за розміром отворів суміжних сит у колонці і заносять у робочий журнал.

За результатами зважування обчислюють масу окремих фракцій. Для контролю підсумовують маси фракцій і порівнюють отриману суму з початковою масою взятого для аналізу зразка. Розбіжність більше 0,5 % показує, що допущені в ході аналізу помилки перевищують припустиму межу, в цьому випадку аналіз повторюють. Найбільш типовими причинами помилки можуть бути неточності при зважуванні і значній утраті частинок зразка при завантаженні та вивантаженні сит.

Результати аналізу виражають у відсотках (з точністю до 0,1 %) відносно маси повітряно-сухої проби і заносять у журнал у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Журнал ситового аналізу

Загальна маса проби _____ г						
	Розмір отворів сит, мм					
						піддон
Маса чашки, г						
Маса чашки з ґрунтом, г						
Залишки на ситах, г						
Вміст фракції, %						

Після розрахунку вмісту всіх фракцій проводять визначення похибки аналізу шляхом порівняння маси вихідної проби ґрунту до розсіювання і суми мас всіх фракцій. Якщо похибка становить менше 5 %, результати аналізу можна вважати прийнятними.

Побудування інтегральної кривої

Результати гранулометричного аналізу можуть бути подані в табличній і графічній формі. У таблицях вказують розмір виділених фракцій та їхній процентний вміст, наприклад як вказано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Гранулометричний склад породи

Варіант	Вміст частинок, мм, у % за масою									
	40-20	20-10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005
1	-	-	7,9	16,4	11,4	13,3	25,5	5,5	17,5	2,5
2	11,4	8,6	10,0	19,5	12,9	10,2	10,9	2,6	10,8	2,1

З графічних способів найбільше поширення має спосіб сумарної (інтегральної) кривої гранулометричного складу. Крива гранулометричного складу може бути побудована в звичайному або напівлогарифмічному масштабі. Звичайний масштаб незручний тим, що внаслідок широкого діапазону діаметрів частинок графіки виходять непомірно розтягнутими по осі абсцис. Побудова кривих у напівлогарифмічному масштабі дозволяє наносити вміст дрібних фракцій з достатньою точністю, не подовжуючи криву по осі абсцис.

Для побудови кривої в напівлогарифмічному масштабі, по осі абсцис відкладають не діаметри частинок, а їхні логарифми або величини, пропорційні логарифмам. На початку координат ставлять звичайне число 0,001, а потім, приймаючи $\lg 10$ рівним довільному відрізкові, відкладають цей відрізок у праву сторону чотири-п'ять разів, роблячи позначки і ставлячи проти них послідовно числа 0,01, 0,1, 1, 10, 100. Відстань між кожними двома мітками поділяють пропорційно логарифмам чисел 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

У першому від початку координат інтервалі виділені відрізки відповідати-муть діаметрам частинок від 0,002 до 0,009, у другому – від 0,02 до 0,09, у тре-

тому – від 0,2 до 0,9, у четвертому – від 2 до 10, у п'ятому – від 20 до 100 мм. Наприклад, якщо прийняти, що $\lg 10 = 1$ відповідає відрізкові довжиною 4 см, то $\lg 2 = 0,301$ відповідатиме відрізкові $0,301 \times 4 = 1,2$ см, $\lg 3 = 0,477$ відповідатиме відрізкові $0,477 \times 4 = 1,9$ см, $\lg 4 = 0,602$ відповідатиме відрізкові $0,602 \times 4 = 2,4$ см і т.д.

Зазначені відрізки відкладають на осі абсцис від початку координат і від кожної мітки, що обмежує відрізок довжиною 4 см.

По осі ординат відкладають сумарний вміст фракцій у відсотках. Для цього послідовно підсумовують вміст фракцій, починаючи із найбільш дрібних частинок, і по цих числах будують криву. Кожне з отриманих чисел вказує таким чином сумарний вміст фракцій менше визначеного діаметра. Послідовність одержання цифрових даних для побудови інтегральної кривої показана в таблиці 2.3 на підставі вихідних даних розсіву, наведених вище у таблиці 2.2.

Таблиця 2.3 – Послідовне підсумовування вмісту фракцій

Діаметр частинок, мм	Процентний вміст частинок	
	Варіант 1	Варіант 2
<0,005	0	0
<0,01	2,5	2,1
<0,05	$2,5 + 17,5 = 20,0$	$2,1 + 10,8 = 12,9$
<0,1	$20,0 + 5,5 = 25,5$	$12,9 + 2,6 = 15,5$
<0,5	$25,5 + 24,5 = 51,0$	$15,5 + 10,9 = 26,4$
<1	$51,0 + 13,3 = 64,3$	$26,4 + 10,2 = 36,6$
<2	$64,3 + 11,4 = 75,7$	$36,6 + 12,9 = 49,5$
<5	$75,7 + 16,4 = 92,1$	$49,5 + 20,5 = 70,0$
<10	$92,1 + 7,9 = 100$	$70,0 + 10,0 = 80,0$
<20	–	$80,0 + 8,6 = 88,6$
<40	–	$88,6 + 11,4 = 100$

За отриманими даними інтегральну криву можна побудувати як вручну, так і засобами будь-якої відповідної програми для створення діаграм, наприклад, у Microsoft Excel, який є найдоступнішим і найпоширенішим інструментом обробки табличних даних. Для цього необхідно підготувати вихідні дані (див. таблицю 2.3) і створити діаграму типу «точкова з прямими відрізками та маркерами» (рис. 2.1). У параметрах осі абсцис (діаметр частинок) необхідно включити позначку «логарифмічна шкала».

На основі результатів проведеного аналізу можна дати назву досліджуваній породі, використовуючи класифікаційну таблицю (табл. 1.1), як було розглянуто у практичній роботі 1.

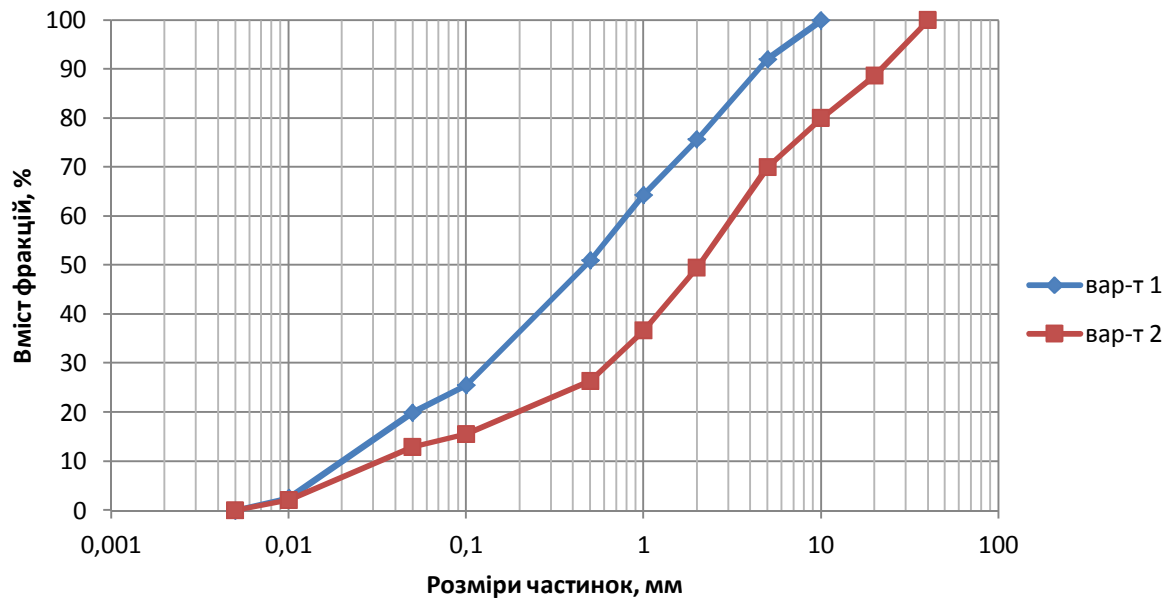


Рисунок 2.1 – Інтегральні криві гранулометричного складу

2.2 Методика оцінки суфозійності незв'язних ґрунтів

Суфозія або механічне винесення дрібних частинок із породи водою є несприятливим, а інколи й небезпечним процесом, ризик виникнення і ступінь прояву якого необхідно оцінити ще на стадії проектування споруд і будівель.

Орієнтовну оцінку суфозійності ґрунту виконують, виходячи зі значення коефіцієнта неоднорідності η і допустимого градієнта напору $I_{\text{доп.}}$. Коефіцієнт неоднорідності ґрунту η визначають як співвідношення:

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3)$$

де d_{60} і d_{10} – діаметри частинок, менше яких у ґрунті міститься відповідно 60 і 10 % частинок за масою.

Значення d_{60} і d_{10} визначають за кривою гранулометричного складу даного ґрунту шляхом простежування яким значенням на осі абсцис (розміри частинок в мм) відповідають значення 60 і 10 на осі ординат (вміст фракцій, %).

Для ґрунтів з $\eta < 10$ допустимий градієнт напору $I_{\text{доп.}}$ становить 0,3...0,4; при $10 < \eta < 20$ $I_{\text{доп.}} = 0,2$; при $\eta > 20$ $I_{\text{доп.}} = 0,1$.

При значеннях градієнта напору менше допустимого для ґрунтів визначеного зернового складу суфозійні явища не спостерігаються.

У ґрунтах з $\eta < 10$ при градієнтах напору більше 0,3...0,4 відбувається не власне суфозія, а випор.

Більш точним методом оцінки суфозійності ґрунту є розрахунковий, заснований на визначенні за експериментальними залежностями діаметра максимального порового каналу, діаметра і процентного вмісту суфозійних частинок, критичних швидкостей і критичних градієнтів напору фільтраційного потоку.

Максимальний діаметр порового каналу розраховують за формулою:

$$d_{\max}^o = 0,455 \chi \cdot \sqrt[6]{\eta} \cdot \frac{n}{1-n} \cdot d_{17}, [\text{см}] \quad (4)$$

де χ – коефіцієнт локальності суфозії, який залежить від коефіцієнта неоднорідності ґрунту і визначається за залежністю $\chi = 1 + 0,05\eta$;

η – коефіцієнт неоднорідності (різномірності) ґрунту, який дорівнює відношенню d_{60}/d_{10} ;

n – ефективна пористість ґрунту, частка од.;

d_{17} – діаметр частинок, менше якого в ґрунті міститься 17 % частинок за масою, см.

Параметри d_{60} , d_{10} і d_{17} визначаються за кривою гранулометричного складу, методика побудовування якої викладена у попередній практичній роботі.

Максимальний діаметр суфозійних частинок d_{\max}^c розраховують за формулою:

$$d_{\max}^c = 0,77 d_{\max}^o, [\text{см}] \quad (5)$$

Відсотковий вміст суфозійних частинок знаходять за кривою гранулометричного складу ґрунту в залежності від їх максимального діаметру.

Розрахунок критичної швидкості суфозії проводять за формулою:

$$V_{\text{кр.}}^c = \varphi_o d_{\max}^c \sqrt{\frac{n \cdot g}{v} K}, [\text{см/с}] \quad (6)$$

де d_{\max}^c – максимальний діаметр суфозійних частинок, см;

n – ефективна пористість ґрунту, частки од.;

g – прискорення сили тяжіння, см/с^2 ;

v – кінематичний коефіцієнт в'язкості, $\text{см}^2/\text{с}$;

K – коефіцієнт фільтрації, см/с ;

φ_o – коефіцієнт критичної швидкості:

$$\varphi_o = 0,6 \left(\frac{\rho_{\text{с.г.}}}{\rho_{\text{в}}} - 1 \right) f^* \cdot \sin \left(30^\circ + \frac{\Theta}{8} \right) \quad (7)$$

де $\rho_{\text{с.г.}}$ – щільність сухого ґрунту, г/см^3 ;

$\rho_{\text{в}}$ – щільність води, г/см^3 ;

Θ – кут між напрямками швидкості фільтрації і сили тяжіння;

f^* – приведений коефіцієнт тертя, який визначається за залежністю:

$$f^* = 0,82 - 1,8n + 0,0062 (\eta - 5) \quad (8)$$

Коефіцієнт фільтрації ґрунту можна визначити за залежністю М. П. Павчича:

$$K = \frac{3,99\varphi_1}{v} \cdot \sqrt[3]{\eta} \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot d_{17}^2, [\text{см/сек}] \quad (9)$$

де φ_1 – коефіцієнт, який враховує форму і шорсткість частинок; для піщано-гравелістких ґрунтів $\varphi_1 = 1,0$; для щебених ґрунтів $\varphi_1 = 0,35 \dots 0,40$; v – коефіцієнт кінематичної в'язкості ($\text{см}^2/\text{с}$); n – ефективна пористість ґрунту; η – коефіцієнт неоднорідності ґрунту; d_{17} – діаметр частинок, менше якого у ґрунті міститься 17 % за масою, см.

Фактичну швидкість руху фільтраційного потоку знаходять згідно залежності закону лінійної фільтрації:

$$V_{\phi} = K \cdot I \quad (10)$$

Якщо при розрахунку виявиться, що фактична швидкість фільтрації менша критичної, то відповідно формулі (6) визначають максимальний діаметр суфозійних частинок (см), для яких фактична швидкість фільтрації буде критичною:

$$d_{\max}^c = \frac{V_{\phi}}{\varphi_o \sqrt{\frac{n \cdot g}{v} K}}, [\text{см}] \quad (11)$$

Відсотковий вміст таких частинок визначають за кривою гранулометричного складу ґрунту.

2.3 Статистична обробка результатів вимірювань інженерно-геологічних властивостей

Під час проектування основ і фундаментів будівель і споруд використовують: фізичні характеристики ґрунтів – вологість, пористість, щільність, міцність, модуль деформації, питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя для нескельних ґрунтів, тимчасовий опір одновісному стиску для скельних ґрунтів.

Для отримання достовірних значень інженерно-геологічних характеристик ґрунтів, проводять їх статистичну обробку за такою методикою:

Визначають середнє арифметичне значення:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i \quad (12)$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{A} - A_i)^2} \quad (13)$$

Коефіцієнт варіації:

$$V = \frac{\bar{S}}{\bar{A}} \quad (14)$$

де A_i – значення характеристик ґрунту; n - кількість визначень. Далі проводять статистичну перевірку на виключення грубих помилок. Виключають ті приватні значення A_i , для яких не виконується така умова:

$$|\bar{A} - A_i| < v \cdot \sigma_{3M} \quad (15)$$

де \bar{A} – середнє арифметичне значення характеристики,

v – статистичний критерій, який приймається в залежності від числа визначень n :

при $n = 6$ $v = 2,07$

при $n = 7$ $v = 2,18$.

$\sigma_{зм}$ – зміщена оцінка середнього квадратичного відхилення характеристики, що обчислюється за формулою:

$$\sigma_{зм} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\bar{A} - A_i)^2} \quad (16)$$

Після виключення грубих помилок розрахунки статистичних параметрів повторюють по наведеною методикою для тих характеристик, для яких були винайдені грубі помилки.

За нормативне значення для всіх характеристик ґрунтів, крім питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя приймають середнє арифметичне значення, яке ми отримали після перевірки вибірки на наявність грубих помилок:

$$A^H = \bar{A} \quad (17)$$

Розрахунок нормативних значень питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя виробляють за методом найменших квадратів.

Нормативні значення характеристик використовують для розподілу розрізу на інженерно-геологічні елементи, під час класифікації ґрунтів, визначення найменування ґрунту.

Розрахункові значення характеристик ґрунтів використовують при проектуванні основ і фундаментів будівель і споруд. Розрахункові значення обчислюють за такими залежностями:

$$A^{\text{розрах.}} = \frac{A^H}{K^H} = A^H(1 \pm \rho) \quad (18)$$

де K^H – коефіцієнт безпеки по ґрунту, який вираховується за формулою:

$$K^H = \frac{1}{1 \pm \rho} \quad (19)$$

де ρ – показник точності середнього значення характеристики, який розраховують за залежністю:

$$\rho = \frac{t_\alpha \cdot V}{\sqrt{n}} \quad (20)$$

де t_α – коефіцієнт, який приймається згідно стандарту залежно від числа ступенів свободи K :

$K = n - 1$	t_α
3	1,25
4	1,19
5	1,16
6	1,13

де n – кількість значень у вибірці.

Знак у формулах (18), (19) перед величиною ρ приймають таким, щоб забезпечувалася більша надійність у результаті даного розрахунку основи або фундаменту. Наприклад, збільшення природної вологості ґрунту знижує його несучу здатність, тому для більшої надійності розрахунку необхідно отримати найгірше значення цієї характеристики, тобто ρ слід додати.

2.4 Визначення міцності скельних і нескельних ґрунтів

Породи з жорсткими структурними зв'язками (скельні) поведуться як тверді тіла і характеризуються міцністю, тобто здатністю чинити опір руйнуванню від дії внутрішніх напружень, що виникають у результаті зовнішніх впливів.

Міцність, що характеризується показником $R_{ст}$ (тимчасовий опір стиску), залежить не тільки від мінералогічного складу порід, їхньої структури, характеру внутрішніх зв'язків між частинками, але і від ступеня вивітрілості порід, їхньої тріщинуватості й водо-насиченості. Здатність до зниження міцності порід при їх водонасиченні називають розм'якливістю порід.

Відношення межі міцності на стиск ($R_{ст}$) породи у водонасиченому стані до аналогічного показника сухої породи називається коефіцієнтом розм'якливості (K_p):

$$K_p = R_{вод.}/R_{сух.} \quad (21)$$

Породи з коефіцієнтом розм'якливості менше 0,75 відносять до порід, що розм'якшуються, тобто мають істотне зниження міцності у водонасиченому стані.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). Ґрунти. Класифікація.
2. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти : підручник / М. Л. Зоценко та ін. – Полтава : ПНТУ, 2003. – 446 с.
3. Ананьев В. П. Инженерная геология : учеб. для строит. спец. вузов / В. П. Ананьев, А. Д. Потапов. – Москва: Высш. школа, 2005. – 575 с.
4. Інженерно-геологічні властивості гірських порід та штучних ґрунтів / Навчально-методичний посібник з дисципліни «Прикладна літогеологія і радіоекологія» (для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форми навчання спеціальності 6.070800 – Екологія та охорона навколишнього середовища) / Укл. Л. П. Свіренко, К. Д. Бригінець, Д. В. Дядін. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 58 с.
5. Швецов Г. И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты : учебник / Г. И. Швецов. – Москва: Высш. школа, 1987.

Навчальне видання

Методичні вказівки
до практичних занять і самостійної роботи
з навчальної дисципліни
«ІНЖЕНЕРНИЙ ЗАХИСТ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА»
(для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності
183 – Технології захисту навколишнього середовища)

Укладач **ДЯДІН** Дмитро Володимирович

Відповідальний за випуск *Т. В. Дмитренко*

За авторською редакцією

Комп'ютерний набір *Д. В. Дядін*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2016, поз. 84М

Підп. до друку 29.06.2016
Друк на різнографі
Зам. №

Формат 60×84/16
Ум. друк. арк. 0,7
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017 р.